E/CONF.39/A/345
6 Nov.1962
ORIGINAL : ESPAÑOL

CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS
SOBRE LA APLICACION DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA
EN BENEFICIO DE LAS REGIONES MENOS DESARROLLADAS

Punto del programa : A. 3

México

EVALUACION
DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUPERFICIALES

Por Eduardo CRAVIOTO GUERRERO,
Ingeniero,
Director de Hidrología

Las monografías presentadas en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología en Beneficio de las Regiones Menos Desarrolladas constituyen documentos de trabajo de dicha Conferencia. Se publican tal como han sido presentadas por los colaboradores y los puntos de vista expresados en ellas corresponden a los colaboradores. (Véanse notas al dorso.)

NOTAS

1. Las monografías seleccionadas para las Sesiones Generales serán distribuidas en la Conferencia en los siguientes idiomas oficiales de las Naciones Unidas: español, francés, inglés y ruso.

2. Las monografías seleccionadas para las Sesiones Especiales serán distribuidas en la Conferencia únicamente en uno de los idiomas oficiales antes indicados.

3. Los resúmenes de las monografías presentadas por los colaboradores serán distribuidos en la Conferencia en los siguientes idiomas oficiales de las Naciones Unidas: español, francés, inglés y ruso.

4. No se procederá a la distribución general de las monografías y resúmenes con antelación a la Conferencia. Unicamente serán publicadas en cantidades limitadas con antelación a la Conferencia para uso exclusivo de las delegaciones de los gobiernos participantes y de otros participantes autorizados. La publicación con posterioridad a la Conferencia y la distribución general de las actas y debates de la Conferencia seguirán las prácticas de las Naciones Unidas establecidas por la Junta de Publicaciones de las Naciones Unidas.

EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUPERFICIALES

Por el Ing. Eduardo Cravioto Guerrero.- Director de Hidrología

I.- PREAMBULO

1.- La evaluación de los recursos hidráulicos superficiales es sumamente importante para una correcta planeación del mejor aprovechamiento de las corrientes, coordinando los diversos usos en la forma más adecuada y conveniente, tanto desde el punto de vista regional como nacional.

2.- Estando nuestro país en desarrollo, todos los gobiernos se han preocupado por ampliar dentro de sus posibilidades, la red de estaciones climatológicas y fluviométricas o hidrométricas, sin embargo aunque a la fecha se tiene un número considerable de estaciones todavía será necesario instalar aún más en los próximos años para poder hacer una evaluación lo más fidedigna posible, de nuestros recursos hidráulicos superficiales.

II.- CICLO HIDROLOGICO.

3.- Se denomina ciclo hidrológico al proceso continuo que siguen las partículas de agua desde que se precipitan en forma de lluvia, nieve granizo, etc. para después escurrir superficial o subterraneamente, almacenarse en los mares, lagos naturales y artificiales y después evaporarse para aumentar la humedad de la atmósfera y estar en condiciones de volver a precipitarse. Este capitulo se refiere a la forma en que se miden o estiman en México, las principales fases del ciclo hidrológico.

4.- Medición de la precipitación.- En México prácticamente toda la precipitación del vapor de agua es en forma de lluvia y unicamente en algunos estados del norte y noroeste se tienen nevadas de alguna consideración, pero aún en estas zonas el porcentaje de nieve con relación a la precipitación total es muy reducido y por lo tanto su estudio carece de importancia en este País.

5.- La mayoría de los pluviómetros usados tienen un vaso medidor de 7.1 cm de diámetro por 20 cm de altura por lo que facilmente pueden registrarse láminas de lluvia de 20 mm, sin embargo como el vaso medidor está dentro de un depósito que tiene 23 cm de diámetro y 29.6 cm de alto en realidad pueden registrarse láminas de lluvia hasta de 300 mm, unicamente que esta medida ya no es directa, habiendo necesidad de determinarla en función de la capacidad del vaso medidor. En algunos lugares de precipitación intensa, actualmente se están instalando pluviómetros con un depósito de mayor altura para poder registrar lluvias de más de 300 mm en 24 hrs. que es el lapso de tiempo en que se hacen las observaciones.

6.- Se tienen en operación pluviógrafos de diferentes marcas, pero la mayor parte son "Fuess" o "Lambrecht" que siguen el sistema de sifón del profesor Hellman, siendo relativamente reducidos en número, debido a su alto costo en comparación con el del pluviómetro y a que se necesita personal algo más preparado para su atención.

7.- Medición del escurrimiento superficial.- El escurrimiento superficial es aquella parte de la lluvia caída en los continentes que escurre por los cauces de los arroyos y ríos. La mayor parte del escurrimiento superficial se origina al afluir el agua de lluvia directamente en los cauces debido a que la intensidad de la lluvia durante las tormentas es superior a la rápidez de infiltración ó a que el

suelo se encuentre ya saturado por la infiltración ocurrida por lluvias anteriores,- en cuyo caso se facilita el escurrimiento rápido en forma de grandes crecientes. Una parte del agua infiltrada en el terreno reaparece posteriormente aguas abajo en forma de manantiales o veneros, aumentando el escurrimiento superficial principalmente- en el estiaje, por lo que a pesar de no registrarse lluvia en alguna época del año,- se tienen escurrimientos en algunos ríos durante todo el año.

8.- Para la medición del caudal de las corrientes superficiales se han establecido estaciones hidrométricas o fluviométricas en donde constantemente se miden las- fluctuaciones del nivel del agua y en algunos casos se determinan los gastos para -- diferentes niveles. En corrientes naturales y pequeñas se han instalado vertedores - o medidores Parshall en donde con solo medir los niveles se calcula el gasto con --- fórmulas teóricas que en algunos casos se han comprobado practicamente. En los ríos- o arroyos el método mas comunmente usado es el de sección y velocidad que consiste - en hacer sondeos en cada caso para conocer la sección y en medir la velocidad del -- agua por medio del molinete hidráulico.

9.- Para conocer perfectamente las fluctuaciones del nivel del agua se ha procurado instalar aparatos registradores o limnígrafos en la mayoría de las estaciones - hidrométricas y en donde no se tienen, se hacen lecturas de escala cada 6 horas y durante las crecientes a menor intervalo de tiempo según la magnitud del caudal del - río.

10.- Para hacer los sondeos y determinación de la velocidad se usan los métodos- siguientes:

a).- Vadeo.- En corrientes pequeñas o durante el estiaje en corrientes más grandes, el aforador se mete al cauce del río para hacer sus mediciones, pero esto solo- puede hacerse en los casos en que se tienen láminas de agua de menos de 0.80 m y velocidades de menos de 1 m/s.

b).- Pasarelas o puentes.- Para aforar corrientes más grandes se instalan pasarelas o puentes en los sitios adecuados o se utilizan puentes carreteros o de ferrocarril ya construidos, aunque éstos no siempre son adecuados, sobre todo cuando tienen varias pilas intermedias o están muy esviajados.

c).- Cablevía.- La experiencia ha indicado que en claros de más de 20 m. lo más- recomendable economicamente, es tender un cablevía para el paso de una canastilla -- desde donde se hacen los sondeos y las mediciones de la velocidad por lo que en nuestro país la mayoría de las estaciones son de este tipo.

d).- Canoa.- En cauces sumamente anchos de poca velocidad y que no son apropia-- dos para construcción de cable y canastilla, se hacen los aforos en canoa, tendiendo un cable para sostenerla. Las estaciones que tenemos de este tipo son muy reducidas- y se localizan en algunos ríos caudalosos del sur de la Vertiente del Golfo.

11.- Medicion de la evaporación en la superficie libre del agua.- Se usan los -- evaporómetros terrestres ligeramente separados del suelo, que son los más comunmente usados en los Estados Unidos y el que provisionalmente ha recomendado como oficial - la Organización Meteorológica Mundial, consistiendo en un tanque de 122 cm de diámetro (4 pies) y 26 cm de alto, en el que se tiene un cilindro de reposo y un tornillo micrométrico con el que se mide la lámina evaporada, haciéndose las observaciones -- diariamente a las 8 hrs.

12.- Medición de la evapotranspiración.- Se han instalado algunos evapotranspiró metros que consisten esencialmente en un depósito de agua que alimenta un pequeño -- tanque en donde se conserva un nivel constante por medio de una llave de flotador -- y vertedero. Este último tanque alimenta a un receptáculo cilindrico enterrado en el suelo hasta sus bordes y colocado a su mismo nivel, que tiene grava abajo y está lleno de tierra hasta el nivel del terreno circunvecino en donde se siembran las plan-- tas adecuadas. La cantidad de agua utilizada en mantener constante el nivel del agua es la que mide la evapotranspiración. Sin embargo a la fecha no se han podido obtener buenas conclusiones, por loqque hay necesidad de estimar la evapotranspiración - por los métodos de Lowry-Johnson, Blayney,y C.W.Thornthwaite, siendo este último el- mas comunmente usado.

III.- PRECIPITACION PLUVIAL.

13.- La lluvia es producida por la condensacion de parte del vapor de agua contenido en la atmósfera y se debe a un enfriamiento de las masas de aire humedo que hace que se saturen y el agua excedente se precipita en forma de lluvia principalmente y resulta por cualquiera de las siguientes causas o su combinación: a-por -- corrientes convectivas, b-por topografía, c-por perturbaciones ciclónicas y d-por- choque de grandes masas de aire. La lluvoa orográfica ó de relieve es la que más - se presenta debido a que nuestro país tiene un relieve muy accidentado existiendo- cadenas de montañas casi paralelas a las costas, tanto en el Pacífico como en el - Golfo de México. Sigue en importancia la lluvia ciclónica ya que la República Me-- xicana se encuentra expuesta a los ciclones del Atlántico, principalmente los gene rados en el Caribe y a los del Pacífico, los que cuando afectan el País producen - fuertes precipitaciones que a su vez ocasionan crecientes en los rios. Las lluvias por choques de masas de aire se registran en el norte y más comunmente en el no--- roeste en donde han provocado las máximas crecientes en algunos rios.

14.- Red de estaciones pluviométricas.- Varias son las dependencias oficiales- que tienen en operación estaciones climatológicas, instalándolas en los lugares que son necesarios para sus respectivas actividades, lo que ha dado como resultado que haya zonas del País, como en el centro de la República, en donde se tienen relativamente numerosas estaciones y en cambio en otras zonas menos pobladas como son -- las Peninsulas de Yucatán y Baja California, se tenga escasez de datos. Sin embargo la Secretaría de Recursos Hidráulicos ha procurado dentro de las limitaciones - presupuestales, llenar las lagunas existentes para asi poder conocer mejor cada -- día los recursos hidráulicos de nuestra nación. La mayoría de las estaciones solo- constan de pluviómetro en donde se hacen las observaciones cada 24 hrs. y solo -- en algunas se tiene además, pluviógrafo para medir las intensidades de lluvia.

15.- En el presente año de 1962 se tienen establecidas 1373 estaciones pluviométricas operadas por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y 844 por las demás -- oficinas, haciendo un total de 2217 estaciones, repartidas en los diferentes estados en la forma siguiente:

TABLA NUM. I

Z o n a	Esrados que comprende	Sup.en Km2	No.de est.	Km2.por est.
Pacífico Norte	B.California, Territorio de B.California, Nayarit Sinaloa y Sonora.	414 437	287	1 444
Norte	Coahuila, Chihuahua, Durango, N. León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas.	800 578	610	1 312
Centro	Aguascalientes, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México,- Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala.	274 669	726	378
Golfo de México	Campeche, Q. Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.	238 999	262	912
Pacífico Sur	Colima, Chiapas, Guerrero y Oaxaca.	238 500	332	718
	Total	1 967 183	2 217	887

16.- Esta tabla muestra que en los estados del centro se tiene la red más numerosa de estaciones, pero en las otras zonas y sobre todo las del norte el número - de estaciones es escaso. Para tener una estación pluviométrica cada 500 Km2 en promedio como mínimo en cada zona, que sería lo deseable, será necesario instalar -- 1 900 estaciones más.

17.- La lluvia media anual en la República Mexicana.- En la figura 1 se muestran las curvas isoyéticas en la República Mexicana, el cual está basado en las --

lluvias registradas en todas las estaciones con un período de datos no menor de -- 10 años. En este plano puede verse que las zonas más lluviosas con precipitaciones de más de 1 500 mm se localizan en los estados de Chiapas, Tabasco, Veracruz, Oaxaca y la región noreste de los estados de Puebla e Hidalgo y las zonas más áridas - se tienen en los estados del norte, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Coahuila, Chihuahua, Sonora y Baja California. En la misma figura 1 se muestran las lluvias-medias mensuales en algunos lugares de las diferentes zonas hidrológicas, las que - indican claramente el monto y la distribución de las mismas.

18.- Las superficies con lluvia igual o mayor a una lluvia dada son las siguientes:

TABLA NUM. 11

Lluvia media	Porciento de la superficie con lluvia igual o superior a la - indicada en la 1a. columna.	Porciento de la superficie con lluvia inferior a la indicada- en la 1a. columna.
3 000	0.6	99.4
2 000	2.9	97.1
1 000	23.1	76.9
717	41.9	58.1
500	57.2	42.8
400	68.7	31.3

19.- Estos datos indican que solo en el 23.1% del área de la República se tiene una lluvia media anual de un metro o más y en el resto o sea el 76.9% es menor; en el 41.9% del área la precipitación es igual o superior a la media en la República, y en la tercera parte del país las lluvias son muy escasas inferiores a 400 mm anuales.

20.- Métodos seguidos para la extrapolación de datos pluviométricos.- Para una correcta evaluación de los recursos hidráulicos superficiales, el mejor procedimiento consiste en la medición directa de los escurrimientos por un largo período de tiempo que cubra tanto años de abundancia como de escasez, sin embargo en la -- República Mexicana solo en algunos casos se tienen estadísticas hidrométricas suficientes. En la mayoría de los casos la ampliación del período de datos hidrométricos se hace basándose en las lluvias por lo que en primer lugar hay necesidad de - completar los datos pluviométricos.

21.- Cuando solo faltan algunos meses de la época de estiaje, se considera suficiente calcular el promedio registrado en dicho mes en los años con observaciones, ya que por lo general las lluvias en estiaje son muy reducidas. Cuando faltan algunos meses de la época de lluvias, se deduce por el método racional deductivo,- el que se basa en la suposición de que la lluvia mensual está en relación directa- de la lluvia anual ó sea que depende de si el año es escaso, normal o abundante.-- Este método no se usa cuando en el mes o meses faltantes se tuvieron lluvias excepcionales en las estaciones vecinas en cuyo caso se usa el método de correlaciones.

22.- Para estimar datos faltantes también se usa el método de correlaciones -- gráficas entre los datos mensuales de la estación con registros incompletos y los- de algunas estaciones cercanas con datos completos, aceptando la relación que queda mejor definida o con promedios de 2 ó 3 estimaciones.

23.- El método racional y el de correlaciones también se utilizan para la estimación de lluvias anuales, con el fin de completar un período común de datos en todas las estaciones seleccionadas en una cuenca. Para la aplicación del método racional se escogen las estaciones con el período de datos completo a las que se les denomina "estaciones piloto" y en función de estas se estiman los datos faltantes- en las estaciones vecinas.

IV.- ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.

24.- La precipitación pluvial en una cuenca hidrográfica, se distribuye en varias partes, una se infiltra en las capas más profundas, otra es absorbida por --

las raices de las plantas, otra parte se pierde por evaporación en el suelo y en los almacenamientos superficiales y el resto escurre superficialmente por los cauces de los arroyos y ríos.

25.- El escurrimiento superficial depende de muchos factores, siendo los principales los siguientes: a) régimen pluvial, no solo la cantidad total de lluvia -- sino sus intensidades y distribución en la cuenca; b) posición de la cuenca con relación a las fuentes de humedad; c) topografía, área, forma y pendiente de la cuenca; d) geología; e) vegetación y f) almacenamientos naturales y artificiales.

26.- La cantidad de agua escurrida por los ríos y arroyos mexicanos es sumamente variable, no unicamente durante el año sino también de un año a otro, siendo la mayoría de régimen torrencial, registrándose fuertes escurrimientos en unos meses en la temporada de lluvias y muy bajos o nulos en la temporada de secas teniéndose además períodos de años lluviosos y períodos de años escasos, por lo que para conocer el régimen de las corrientes es indispensable medir el escurrimiento superficial durante muchos años, pues con un corto período de datos no se tendría suficiente información.

27.- Red de estaciones hidrométricas.- En los párrafos Nos 8, 9 y 10 se trató brevemente acerca de las diferentes clases de estaciones hidrométricas establecidas en México para la medición de los escurrimientos superficiales en las corrientes naturales, mencionandose que el método más comunmente usado es el de sección y velocidad, haciéndose los aforos en la mayoría de las grandes corrientes, desde -- una canastilla que corre sobre un cable vía y en las pequeñas desde una pasarela.- Para medir las fluctuaciones del nivel del agua se utilizan limnígrafos en las estaciones de la. clase y simplemente escalas en las de 2a. clase en las que se hacen observaciones a las 6, 12 y 18 hrs, salvo en el caso de crecientes que se hacen cada hora, sin embargo actualmente se tiene la tendencia a instalar todas las estaciones con limnígrafo por ser lo más apropiado. En corrientes con fluctuaciones considerables del nivel del agua y con un cauce con taludes muy tendidos que hacen cara la instalación y muy difícil la operación de un limnígrafo común, se están empezando a instalar los llamados "limnígrafos de burbuja" que registran las variaciones del nivel del agua en función, de las variaciones de la carga de presión, trasmitida por medio de gas o aire comprimido, las cuales las registra un --- limnígrafo reversible muy sensible que marca la gráfica "Presión-Tiempo", que a -- determinada escala es semejante a la gráfica "tirante-tiempo".

28.- Como en el caso de las estaciones climatológicas, también hay varias dependencias oficiales que operan estaciones hidrométricas, teniendose actualmente - 1103 estaciones hidrométricas de las cuales 729 están sobre ríos o arroyos, 270 sobre canales principales y 104 en presas de almacenamiento. Teniendo en cuenta la - superficia total de la República y descontando las correspondientes a canales, se tiene una estación por cada 2 400 Km2 ó sea que a pesar del incremento que han tenido esta clase de instalaciones, todavía hay mucho por hacer para tener por lo menos una estación por cada 1 500 Km2 en promedio.

29.- Régimen de escurrimiento de las corrientes mexicanas.- La forma alargada y angosta de la República Mexicana y su relieve accidentado con cadenas de montañas paralelas a los litorales, origina que la mayoría de los ríos sean de corta -- longitud y fuerte pendiente y como además las lluvias se concentran en unos meses del año, el régimen de la mayoría de las corrientes es torrencial, Por lo general la época de avenidas es de junio a octubre ó sean 5 meses y el estiaje en los 7 meses de noviembre a mayo en que se secan por completo o solo llegan gastos muy reducidos. En el noroeste debido a las lluvias de invierno producidas por el choque de masas de aire frio del norte con masas de aire caliente y humedo del sur, en algunos años se tienen avenidas en los meses de diciembre a febrero que en algunas corrientes han provocado las avenidas con gastos más altos, pero los gastos medios - mensuales son inferiores a los de verano. En la Vertiente del Golfo, en donde se - tiene una mayor humedad, los gastos de estiaje son de alguna importancia y en los ríos de la zona humeda del país ó sea en el Sureste los gastos de estiaje son de - bastante consideración y así por ejemplo en el río Usumacinta el mínimo es de más de 500 m3/s.

30.- También varían considerablemente las aportaciones de un año a otro, prin-

cipalmente en las corrientes de la zona seca del norte, teniendo muchas de ellas - un régimen muy erratico. La mayor variación en los escurrimientos anuales se ha observado en el Río Tijuana, localizado en el extremo noroeste de la Península de la Baja California, en donde el escurrimiento medio anual de 1938 a 1961 ha sido de - 22.9 millones de m3 con un máximo en 1941 de 216 millones de m3 y un mínimo de 0.5 millones de m3 ó sea una variación del máximo al medio de 9.4 y del máximo al mínimo de 432.

31.- En la Altiplanicie también el régimen de las corrientes es variable aunque no tanto como en el río Tijuana antes mencionado y así en la cuenca cerrada - del río Nazas hasta la presa Lázaro Cárdenas, de 1929 a 1961 se ha tenido un escurrimiento medio anual de 1 100 millones de m3 con un máximo de 2 452 en 1938 y un mínimo de 279 en 1929 ó sea una variación del máximo al mínimo de 8.8.

32.- En la zona humeda las variaciones son de menor consideración, por ejemplo en el río Grijalva en la estación de Las Peñitas, aguas abajo de donde actualmente se construye la presa de Malpaso que será la mayor de la República, el escurrimiento medio anual de 1945 a 1961 es de 21 000 millones de m3, con un máximo de 34 800 millones de m3 en 1955 y un mínimo de 13 800 millones de m3 en 1946 ó sea una relación del máximo al mínimo de 2.52.

33.- Para dar una idea del régimen de las corrientes superficiales mexicanas - se preparó la Figura II en donde pueden verse los escurrimientos medios mensuales de algunos rios entre ellos los mencionados en los párrafos 30, 31 y 32.

V.- EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUPERFICIALES.

34.- La evaluación correcta de los recursos hidráulicos superficiales debe hacerse midiendo directamente las aportaciones de las subcuencas de cada una de las diversas cuencas de captación de una nación. Sin embargo aún en paises economicamente fuertes, es imposible tener una red de estaciones que cubra todas las subcuencas y en paises de economía más reducida, como México, solo es posible medir - los escurrimientos de las más importantes o de aquellas en las que se tiene un proyecto de aplicación inmediata para aprovechamiento en algún uso benefico. Por lo - anterior en muchos casos no se dispone de datos o cubren un período reducido de - tiempo que hay necesidad de ampliar para tener un mejor conocimiento de su régimen

35.- Como por lo general en México se tiene una mayor información pluviométrica que hidrométrica, el método comunmente usado para la extrapolación de datos hidrométricos es por medio de la lluvia media en la cuenca y el coeficiente de escurrimiento, aunque en algunos casos cuando es posible, se hace la extrapolación por medio de correlaciones con datos de cuencas vecinas.

36.- Extrapolación de datos hidrométricos por medio del coeficiente de escurrimiento.- Cuando se tienen varios años de datos hidrométricos y un amplio período - de datos pluviométricos, la extrapolación se hace determinando primero la lluvia - media en la cuenca para cada ciclo considerado y posteriormente el coeficiente de escurrimiento o sea la relación entre el volumen escurrido y el volumen llovido en la cuenca correspondiente. La lluvia media en la cuenca se determina por dos procedimientos: trazando curvas isoyéticas o de igual lluvia o por medio de áreas de influencia o método de Thiessen. El primer procedimiento tiene la ventaja de que al trazar las curvas se puede tomar en cuenta el aspecto orográfico teniendo gráficas que se apegan lo más posible a la realidad, por lo que las lluvias medias estimadas por este método es de lo más preciso posible. El segundo método no toma en --- cuenta el relieve de la cuenca, pero los resultados son bastante aproximados y sobre todo es muy practico ya que teniendo el mismo período de datos en todas las estaciones, ya sean registrados o estimados, una sola vez se determinan las áreas de influencia y rapidamente se pueden calcular las lluvias medias para cada uno de - los ciclos de estudio.

37.- También se estiman las lluvias medias anuales en una cuenca con el siguiente procedimiento que es una variante del primer método antes mencionado. Se trazan las curvas isoyéticas medias anuales correspondientes a todo el período en que se dispone de datos pluviométricos y se determina la lluvia media localizándose después varias estaciones que tengan el mayor número de datos observados y que se en-

cuentren bien distribuidos en la cuenca denomiándose estaciones piloto. Basándose en los datos de estas estaciones piloto se determinan los porcientos de la lluvia de cada año con relación a la media anual de todo el período de estudio, con los que se obtiene la lluvia media para cada uno de los años. Este procedimiento tiene la ventaja de disponerse de las curvas isoyéticas medias que ilustran claramente las condiciones pluviométricas de las diferentes zonas de la cuenca, además de ser rápida aplicación para el cálculo de las lluvias de cada año o de cada ciclo que se considere.

38.- Una vez determinada la lluvia media por cualquiera de los métodos antes mencionados, se investiga la relación que existe entre la lluvia y los escurrimientos. El procedimiento más sencillo consiste en encontrar la relación gráfica entre la lluvia media y el coeficiente de escurrimiento correspondiente en los años en que se tienen observaciones hidrométricas, que es la ley o relación del coeficiente de escurrimiento, la cual por lo general es una curva, siendo suficiente trazarla gráficamente. Con la relación del coeficiente de escurrimiento y las lluvias medias, se hace la extrapolación de los datos hidrométricos teniéndose así un período de datos de escurrimientos semejantes al de datos pluviométricos.

39.- Cuando solo se dispone de datos pluviométricos de una cuenca, pero se tiene una cuenca vecina con datos pluviométricos e hidrométricos, se usa como guía la ley del coeficiente de escurrimiento de esta última y se aplica a los datos de la primera, pero haciendo los ajustes que se crean convenientes por las diferencias que se tengan en las características de las dos cuencas, aunque como es natural, estos ajustes dependen en gran parte del criterio personal del ingeniero hidrólogo encargado del estudio.

40.- Extrapolación de los datos hidrométricos por medio de correlaciones.- En los casos en que se tienen algunos datos hidrométricos de la cuenca en estudio y un amplio período de datos en una cuenca vecina en donde se tengan condiciones meteorológicas parecidas, se usa un método rápido y sencillo que consiste en determinar la relación gráfica entre los volúmenes escurridos en las dos cuencas, utilizándose esta gráfica para la extrapolación de los datos. Estas relaciones se hacen con datos mensuales o anuales, obteniéndose muy buenos resultados cuando queda bien definida la relación. También se usa el mismo procedimiento con estaciones hidrométricas de una misma cuenca cuando ésto es posible.

41.- En los casos en que no se dispone ni de datos hidrométricos ni pluviométricos, se utilizan las aportaciones por Km2 calculadas para cuencas lo más cercanas posible y teniendo en cuenta las condiciones de las cuencas, principalmente magnitud forma y orografía, pero la aproximación de estas estimaciones depende en gran parte del criterio personal del ingeniero que las hace.

42.- Los métodos mencionados para extrapolar el período de datos pluviométricos e hidrométricos son los más usuales en México, pero en algunos casos se siguen otras variantes, dependiendo de la información y tiempo disponible para el estudio.

43.- Siguiendo los métodos anteriores se ha hecho la siguiente estimación preliminar de los recursos hidráulicos superficiales en la República Mexicana:

TABLA NUM. III

Zona	Volumen medio anual escurrido en millones de m3.
Península de Baja California	574
Vertiente del Pacífico	
Zona norte	48 496
Zona sur	63 948
Altiplanicie	8 931
Vertiente del Golfo	
Zona norte	52 682
Zona sur (incluye R. Usumacinta)	174 967
Península de Yucatán (incluye R. Hondo)	4 981
	354 571

Como se nota en esta tabla, casi el 50% de los recursos se concentra en la zona lluviosa del sur de la Vertiente del Golfo de México, correspondiente a las cuencas de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos, Tonalá, Grijalva y Usumacinta en donde se tiene una aportación media anual unitaria de 910 000 m3/Km2. En el resto de la República esta aportación varía desde 5 600 m3/Km2., en algunos ríos de Baja California y noroeste de Sonora hasta 2 600 000 m3/Km2., en algunos ríos del sur del estado de Chiapas.

VI.- INUNDACIONES Y CONTROL DE AVENIDAS.

44.- Estando expuesta la República Mexicana a los ciclones del Atlántico y del Pacífico, estos han ocasionado la mayoría de las grandes crecientes e inundaciones aunque también se han registrado por otras causas.

45.- En los últimos años se han registrado varias inundaciones siendo las principales las siguientes:

a) En el año de 1954 el río Bravo llevó una gran creciente que inundó varias poblaciones fronterizas importantes como Nuevo Laredo y Piedras Negras. El gasto máximo en Cd. Acuña fué de 35 000 m3/s que es más del doble del máximo registrado en las demás corrientes de nuestro País.

b) El río Pánuco en 1955 inundó por más de un mes el puerto de Tampico y otras poblaciones menores, siendo el volumen de la creciente en 37 días de 24 000 millones de m3. que es el 150% de volumen medio anual.

c) En septiembre de 1958 por el río Lerma escurrió una creciente extraordinaria que provocó inundaciones en todos los valles y poblados ribereños que duraron más de un mes.

d) En enero de 1960 ocurrieron grandes crecientes en los ríos del noroeste que inundaron las zonas bajas. La presa M. Hidalgo, sobre el río Fuerte, derramó un gasto de 8 000 m3/s que es el máximo derramado a la fecha por una presa mexicana.

e) El ciclón registrado en octubre de 1959 en el Pacífico, al entrar a tierra provocó crecientes extraordinarias en los ríos Cihuatlán y Coahuayana, con gastos unitarios de 9.85 y 2.35 m3/s/Km2 para cuencas de 1 370 Km2 y 7 230 Km2 respectivamente, gastos que son superiores a los de la envolvente mundial de gastos máximos de Creager para C=100.

46.- Control de avenidas.- Para los estudios de control de avenidas en presas de almacenamiento se toma como base la avenida máxima ordinaria, que es la máxima registrada en un período adecuado de datos no menor de 25 años. Cuando se tiene un período reducido de datos de avenidas se hace una extrapolación basándose en comparaciones con los datos de cuencas vecinas o en función de los datos de las tormentas registradas y aplicando el método del hidrógrafo unidad, aunque ésto no siempre es posible.

47.- Cuando no se dispone de datos hidrométricos, la avenida máxima ordinaria se estima con envolventes de gastos máximos de la zona o en función de las intensidades máximas de las lluvias medias registradas en la cuenca y aplicando la fórmula de Arnold y Gregory que toma en cuenta, además de la lluvia, la magnitud, forma y pendiente de la cuenca y características del cauce.

48.- Actualmente en casi todas las presas de almacenamiento de uso múltiple, se deja una capacidad reservada exclusivamente para control de avenidas, la cual se fija estudiando el paso de la avenida máxima ordinaria por varias alternativas de obras de control considerando un gasto máximo de salida semejante al que puede pasar por las zonas bajas sin provocar inundaciones, en unos casos en las condiciones naturales del cauce y en otras considerando bordos de defensa para aumentar su capacidad. Por lo general, al final de la época de avenidas, cuando va disminuyendo el peligro de grandes crecientes, se permite almacenar agua para algún uso benéfico, aprovechando parte de la capacidad para control de avenidas.

REPUBLICA MEXICANA

LLUVIAS MEDIAS ANUALES EN mm. Y SU DISTRIBUCION MENSUAL EN ALGUNOS LUGARES

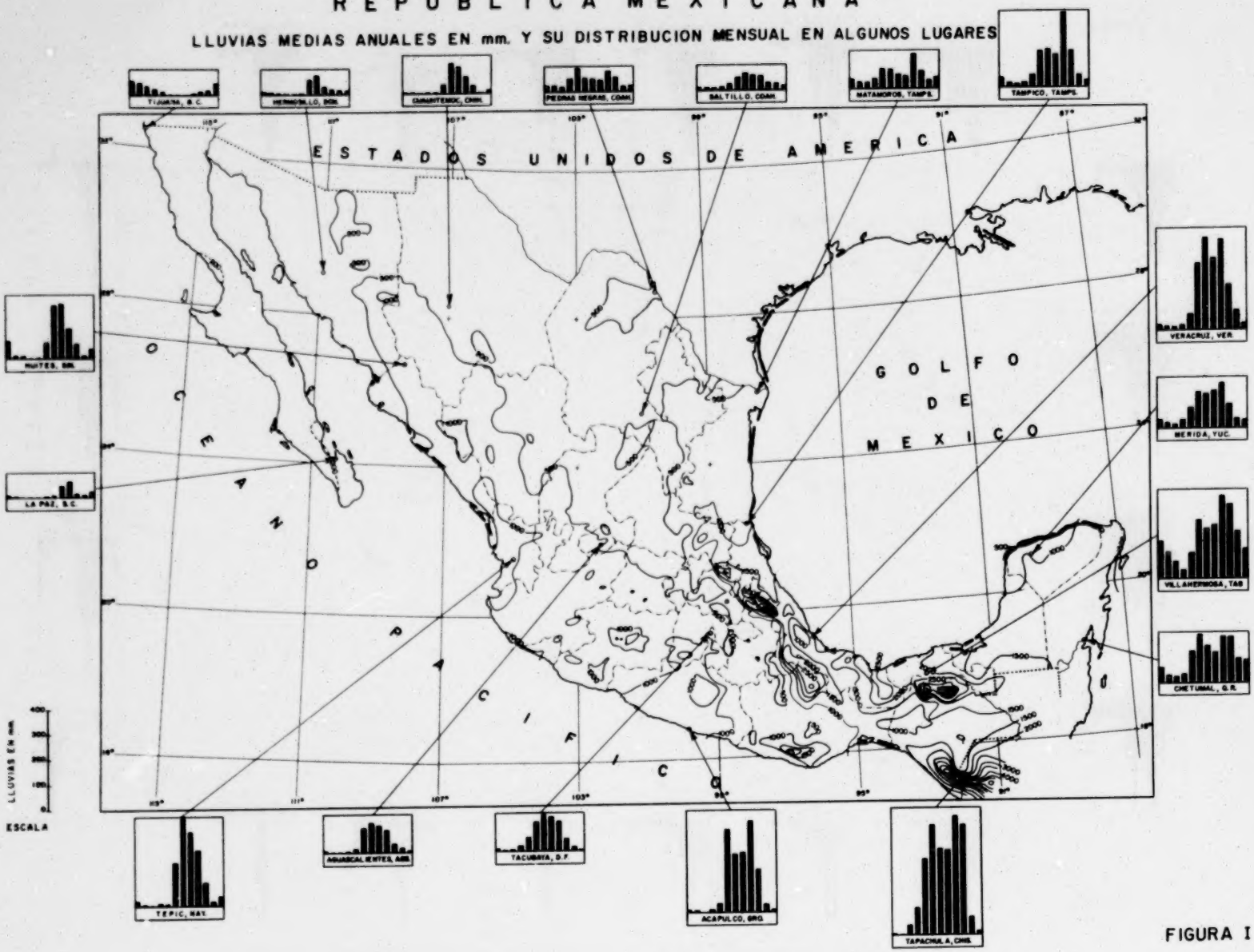

FIGURA I

REPUBLICA MEXICANA

GASTOS MEDIOS MENSUALES EN $m^3/seg.$ EN ALGUNAS CORRIENTES SUPERFICIALES

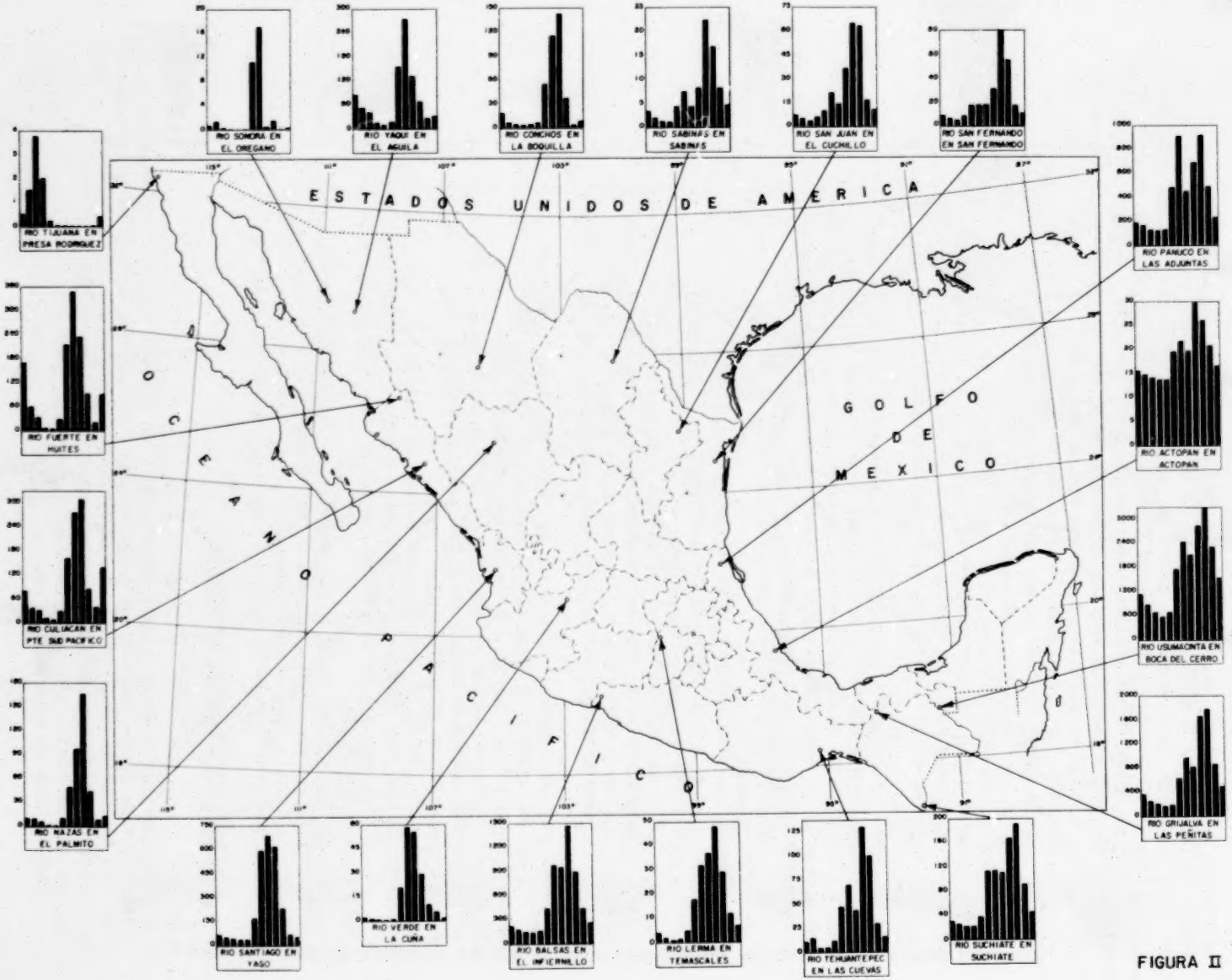
RIO SONORA EN EL OREGANO
RIO YAQUI EN EL AGUILA
RIO CONCHOS EN LA BOQUILLA
RIO SABINAS EN SABINAS
RIO SAN JUAN EN EL CUCHILLO
RIO SAN FERNANDO EN SAN FERNANDO
RIO TIJUANA EN PRESA RODRIGUEZ
RIO PANUCO EN LAS ADJUNTAS
RIO FUERTE EN MOTES
RIO ACTOPAN EN ACTOPAN
RIO CULIACAN EN PTE. SUD PACIFICO
RIO USUMACINTA EN BOCA DEL CERRO
RIO NAZAS EN EL PALMITO
RIO GRIJALVA EN LAS PEÑITAS
RIO SANTIAGO EN YAGO
RIO VERDE EN LA CUÑA
RIO BALSAS EN EL INFIERNILLO
RIO LERMA EN TEMASCALES
RIO TEHUANTEPEC EN LAS CUEVAS
RIO SUCHIATE EN SUCHIATE
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
GOLFO DE MEXICO
OCEANO PACIFICO

FIGURA II

1242 S - Nov. 1962 - 600